

〔短 報〕

石川県における発電用原子炉施設からの予期しない放射性物質の放出の判定条件

石川県保健環境センター 環境科学部 吉本 高志・鶴谷 亮太

〔和文要旨〕

平成 28 年度から平成 30 年度までの志賀観測局における大気浮遊じん中のベータ放射能及びアルファ放射能の測定値を解析することにより、志賀原子力発電所からの予期しない放射性物質の放出を判定するための条件の検討を行った。ベータ放射能とアルファ放射能との比（ベータ/アルファ比）は、季節変動やばらつきが小さいため、ベータ/アルファ比を基に判定条件を設定するのが適切と考えられた。具体的な判定条件として、標準偏差を σ としたとき、ベータ放射能が $5\text{Bq}/\text{m}^3$ を超え、かつ、ベータ/アルファ比が平均値 $+5\sigma$ を超えたときに、「平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」で求められている、 $5\text{Bq}/\text{m}^3$ 程度の志賀原子力発電所起因の人工放射性物質を判別できると考えられた。

キーワード：大気中放射性物質，人工放射性物質，ベータ放射能，ベータ/アルファ比

1 はじめに

原子力規制庁は、平成 30 年 4 月に、「平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」¹⁾（以下「補足参考資料」という。）を作成した。補足参考資料では、平常時モニタリングとして、発電用原子炉施設からの予期しない放射性物質又は放射線の放出の早期発見を目的とした「ダストモニタによる大気中の放射性物質の濃度の測定」を求めている。使用するダストモニタは、1 時間の連続採取及び連続測定により、 $5\text{Bq}/\text{m}^3$ 程度の施設起因の人工放射性物質が測定できるものとしており、発電用原子炉施設から 5km 圏内に、社会環境や自然環境などの地域の実情を考慮し設置することとしている。また、大気中における施設起因の人工放射性物質の有無を把握するには、自然放射性物質の量が、時間帯、季節、気象状況等により大きく変動することから、自然放射性物質の影響を除外する測定手法などが必要であり、アルファ線の測定結果を用いてベータ線の測定結果を補正する手法や、自然放射性物質の影響が少ないガンマ線

を測定する手法などを取り入れる必要がある¹⁾としている。

石川県では、志賀原子力発電所から南東約 5km の地点に設置している志賀観測局において、平成 2 年 7 月から空間放射線、気象要素のほか、ダストモニタによる大気浮遊じん中のアルファ放射能及びベータ放射能の測定を行っている。本県におけるダストモニタによる測定は、自然放射性物質の影響を除外する手法を取り入れていないため、その手法について検討することとした。

そこで本報では、平成 28 年度から平成 30 年度までの志賀観測局におけるダストモニタによる測定結果、及びその結果を用いた大気浮遊じん中の放射能測定値から自然放射性物質の影響を除き $5\text{Bq}/\text{m}^3$ 程度の志賀原子力発電所起因の人工放射性物質を判定するための条件について検討したので報告する。

2 測定方法

ダストモニタによる測定を行っている志賀観測局の位置（緯度 37.026243° ，経度 136.763041° ，標高 55m）を

A Consideration of Criteria for Unexpected Release of Radioactive Materials from Nuclear Power Plant in Ishikawa Prefecture. by YOSHIMOTO Takashi and TSURUYA Ryota (*Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science*)

Key words : radioactivity in airborne dust, artificial radioactive materials, β radioactivity, β/α ratio

図1に、使用しているダストモニタの仕様を表1に示す。本県の測定方式は、集じんと同時に測定を行う「集じん同時測定方式」である。また、ろ紙送り方式が「ステップ送り方式」ではなく「連続送り方式」となっていることが特徴である。

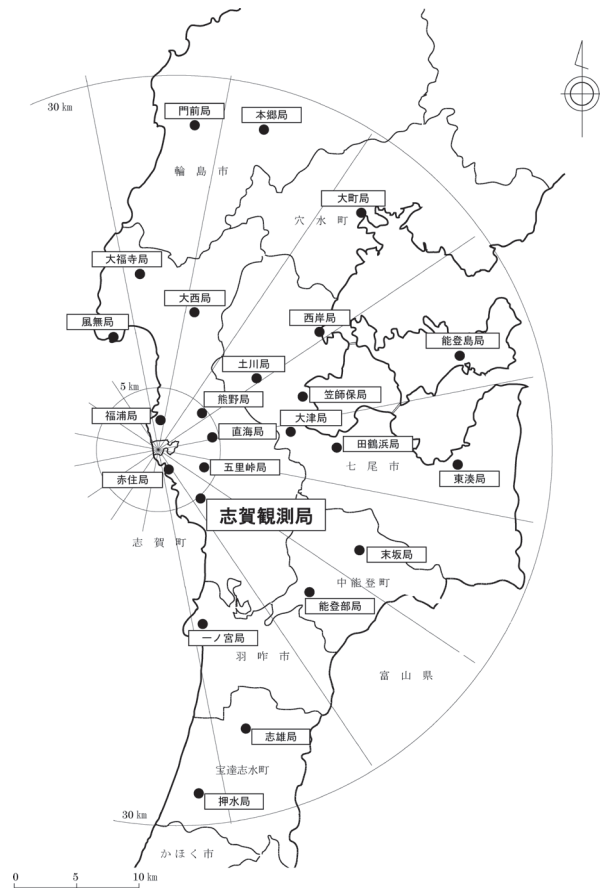


図1 志賀観測局の地点図

表1 ダストモニタの仕様

型式	富士電機システムズ株式会社製 特注品
測定方式	連続ろ紙送り 集じん同時測定
検出器	アルファ線：硫化亜鉛(銀)シンチレーション検出器 ベータ線：プラスチックシンチレーション検出器
ろ紙	ADVANTEC製 HE-40T 長尺ろ紙(90m)
ろ紙送り速度	25mm/時
吸引流量	200L/分
吸引口の高さ	2.2 m

測定値は、1分毎に保健環境センターに伝送され、1分値10個の平均により10分値を算出している。本県では10分値を報告値として用いていることから、本報では、10分値を用いて検討を行った。

3 結果

3・1 大気浮遊じん中の放射能の変動状況及び出現頻度分布

表2及び図2～図4に、平成28年度から平成30年度

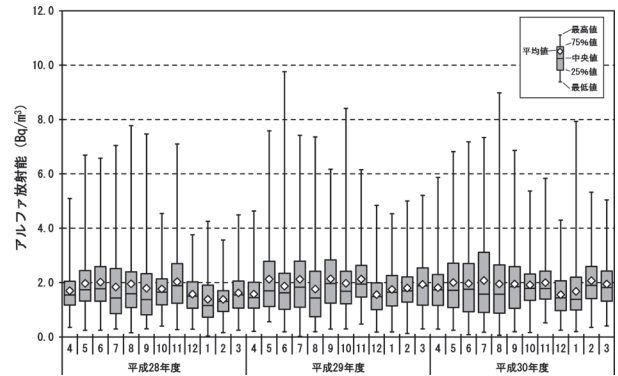


図2 平成28年度から平成30年度までのアルファ放射能の10分値の変動状況

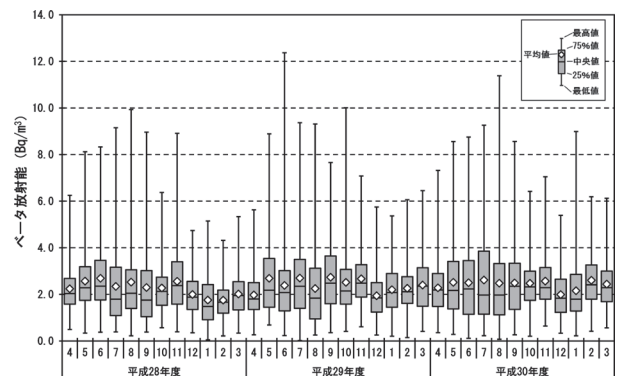


図3 平成28年度から平成30年度までのベータ放射能の10分値の変動状況

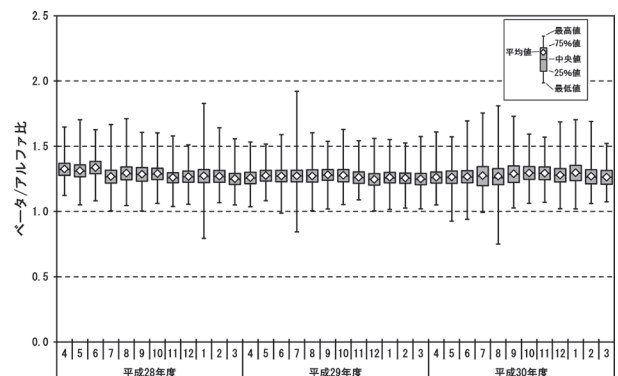


図4 平成28年度から平成30年度までの10分値のベータ/アルファ比の変動状況

までの月毎のアルファ放射能、ベータ放射能及びベータ/アルファ比の変動状況をそれぞれ示す。図のバーの下端は最低値、箱の下底は25%値、中線は50%値、上底は75%値、バーの上端は最高値、白ひし形は平均値である。また、図5にアルファ放射能及びベータ放射能の四分位範囲の変動状況、図6にベータ/アルファ比の四分位範囲の変動状況をそれぞれ示す。なお、四分位範囲は25%値から75%値までの範囲である。

アルファ放射能は、月平均値1.38～2.14Bq/m³、月最高値3.56～9.76Bq/m³及び月最低値0.02～0.56Bq/m³、ベータ放射能は、月平均値1.75～2.74Bq/m³、月最高値

表 2 平成 28 年度から平成 30 年度までの志賀観測局における大気中のアルファ放射能、ベータ放射能及びベータ/アルファ比

年 度	年 月	アルファ放射能 (Bq/m ³)					ベータ放射能 (Bq/m ³)					ベータ/アルファ比				
		平均値	標準偏差	相対標準偏差 (%)	最高値	最低値	平均値	標準偏差	相対標準偏差 (%)	最高値	最低値	平均値	標準偏差	相対標準偏差 (%)	最高値	最低値
平成 28 年度	平成 28 年 4 月	1.70	0.78	45.88	5.09	0.35	2.24	1.00	44.64	6.25	0.49	1.33	0.07	5.26	1.65	1.12
	5 月	1.97	0.98	49.75	6.69	0.25	2.57	1.25	48.64	8.12	0.34	1.31	0.07	5.34	1.70	1.05
	6 月	2.02	1.02	50.50	6.58	0.25	2.69	1.35	50.19	8.33	0.37	1.34	0.07	5.22	1.63	1.08
	7 月	1.84	1.23	66.85	7.04	0.29	2.34	1.59	67.95	9.15	0.39	1.27	0.07	5.51	1.67	1.00
	8 月	1.96	1.23	62.76	7.77	0.15	2.52	1.59	63.10	9.93	0.22	1.29	0.08	6.20	1.71	1.05
	9 月	1.79	1.29	72.07	7.46	0.30	2.30	1.64	71.30	8.96	0.38	1.29	0.08	6.20	1.61	1.00
	10 月	1.77	0.75	42.37	4.54	0.40	2.28	0.97	42.54	6.37	0.57	1.29	0.07	5.43	1.60	1.06
	11 月	2.03	1.00	49.26	7.10	0.27	2.56	1.27	49.61	8.91	0.39	1.26	0.06	4.76	1.58	1.04
	12 月	1.57	0.69	43.95	3.76	0.28	1.99	0.88	44.22	4.74	0.35	1.27	0.07	5.51	1.51	1.06
	平成 29 年 1 月	1.39	0.86	61.87	4.25	0.03	1.76	1.07	60.80	5.15	0.05	1.27	0.08	6.30	1.83	0.79
	2 月	1.38	0.60	43.48	3.56	0.16	1.75	0.76	43.43	4.32	0.21	1.27	0.07	5.51	1.64	1.07
	3 月	1.62	0.72	44.44	4.49	0.25	2.01	0.86	42.79	5.34	0.34	1.25	0.06	4.80	1.56	1.05
年間	1.75	0.98	56.00	7.77	0.03	2.25	1.26	56.00	9.93	0.05	1.29	0.07	5.43	1.83	0.79	
平成 29 年度	4 月	1.58	0.71	44.94	4.63	0.21	1.98	0.87	43.94	5.63	0.26	1.26	0.07	5.56	1.53	1.04
	5 月	2.13	1.31	61.50	7.59	0.56	2.69	1.60	59.48	8.89	0.69	1.28	0.06	4.69	1.52	1.08
	6 月	1.88	1.19	63.30	9.76	0.19	2.38	1.50	63.03	12.37	0.23	1.27	0.07	5.51	1.59	0.99
	7 月	2.12	1.40	66.04	7.42	0.02	2.70	1.76	65.19	9.37	0.02	1.27	0.08	6.30	1.92	0.84
	8 月	1.76	1.28	72.73	7.36	0.19	2.25	1.64	72.89	9.31	0.26	1.27	0.07	5.51	1.60	1.01
	9 月	2.14	1.12	52.34	6.17	0.29	2.74	1.42	51.82	7.66	0.36	1.28	0.06	4.69	1.54	1.02
	10 月	1.98	1.13	57.07	8.41	0.30	2.51	1.43	56.97	10.01	0.41	1.28	0.07	5.47	1.63	1.05
	11 月	2.13	0.95	44.60	6.15	0.47	2.67	1.13	42.32	7.08	0.61	1.26	0.07	5.56	1.54	1.09
	12 月	1.56	0.76	48.72	4.84	0.18	1.94	0.95	48.97	5.75	0.25	1.25	0.07	5.60	1.56	1.00
	平成 30 年 1 月	1.75	0.76	43.43	4.54	0.19	2.20	0.95	43.18	5.36	0.20	1.26	0.06	4.76	1.55	1.02
	2 月	1.80	0.69	38.33	5.00	0.13	2.26	0.86	38.05	6.06	0.15	1.26	0.06	4.76	1.52	1.03
	3 月	1.93	0.91	47.15	5.21	0.30	2.40	1.10	45.83	6.45	0.41	1.25	0.07	5.60	1.57	1.02
年間	1.90	1.07	56.32	9.76	0.02	2.39	1.34	56.07	12.37	0.02	1.27	0.07	5.51	1.92	0.84	
平成 30 年度	4 月	1.81	0.87	48.07	5.87	0.29	2.28	1.07	46.93	7.32	0.36	1.26	0.07	5.56	1.61	1.05
	5 月	2.00	1.25	62.50	6.82	0.24	2.52	1.54	61.11	8.56	0.28	1.26	0.07	5.56	1.57	0.93
	6 月	1.97	1.31	66.50	7.18	0.08	2.50	1.66	66.40	8.75	0.11	1.27	0.08	6.30	1.69	0.94
	7 月	2.08	1.49	71.63	7.34	0.18	2.62	1.85	70.61	9.26	0.22	1.28	0.10	7.81	1.75	0.99
	8 月	1.95	1.44	73.85	8.98	0.06	2.48	1.85	74.60	11.38	0.08	1.27	0.10	7.87	1.81	0.75
	9 月	1.95	1.09	55.90	6.86	0.19	2.49	1.37	55.02	8.56	0.27	1.29	0.09	6.98	1.73	1.03
	10 月	1.92	0.86	44.79	5.37	0.16	2.48	1.09	43.95	6.42	0.20	1.30	0.07	5.38	1.59	1.06
	11 月	2.00	0.88	44.00	5.84	0.52	2.57	1.11	43.19	7.05	0.64	1.29	0.07	5.43	1.57	1.07
	12 月	1.56	0.72	46.15	4.30	0.25	1.99	0.92	46.23	5.39	0.33	1.28	0.08	6.25	1.69	1.02
	平成 31 年 1 月	1.68	0.98	58.33	7.93	0.20	2.16	1.21	56.02	8.99	0.22	1.30	0.09	6.92	1.70	1.02
	2 月	2.07	0.93	44.93	5.33	0.35	2.61	1.12	42.91	6.19	0.42	1.27	0.08	6.30	1.69	1.06
	3 月	1.95	0.84	43.08	5.04	0.41	2.44	1.02	41.80	6.12	0.56	1.26	0.07	5.56	1.52	1.07
年間	1.91	1.10	57.59	8.98	0.06	2.43	1.37	56.38	11.38	0.08	1.28	0.08	6.25	1.81	0.75	
平成 28 年度～平成 30 年度	年間	1.85	1.05	56.76	9.76	0.02	2.36	1.32	55.93	12.37	0.02	1.28	0.08	6.25	1.92	0.75

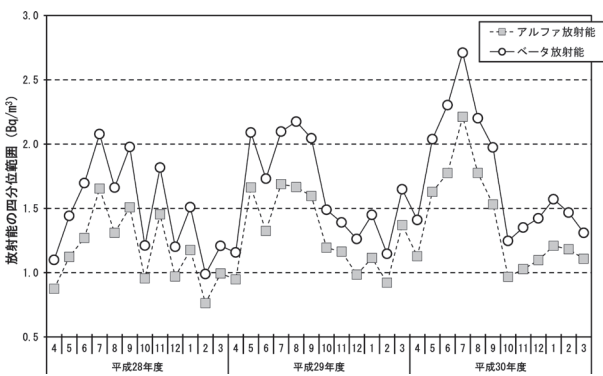


図 5 平成 28 年度から平成 30 年度までのアルファ放射能及びベータ放射能の 10 分値の四分位範囲の変動状況

4.32～12.4Bq/m³及び月最低値0.02～0.69Bq/m³であった。月最高値をみると、アルファ放射能、ベータ放射能ともに、夏季に高く冬季に低くなる傾向が見られた。これは、同じ日本海側の福井県²⁾や新潟県³⁾での測定結果と同様であった。また、四分位範囲は、アルファ放射能、ベータ放射能ともに、夏季に大きく冬季に小さくなる傾

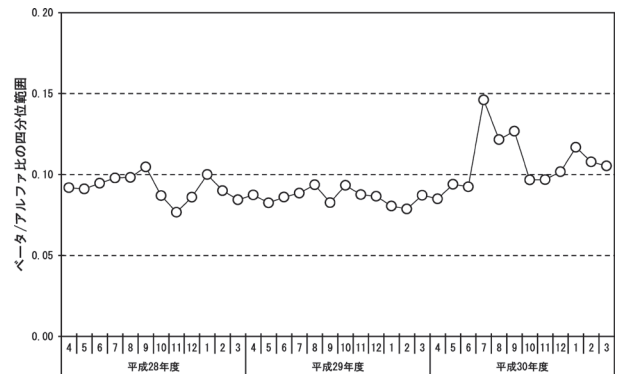


図 6 平成 28 年度から平成 30 年度までの 10 分値のベータ/アルファ比の四分位範囲の変動状況

向が見られた。

ベータ/アルファ比は、月平均値1.25～1.34、月最高値1.51～1.92及び月最低値0.75～1.12であり、顕著な季節変動は見られなかった。なお、ベータ/アルファ比の値は、測定方式やろ紙送り方式によって異なることに注意が必要である。例えば新潟県が導入している機器の

場合、測定方式が「集じん同時測定」、ろ紙送り方式が「6時間ごとのステップ送り方式」であり、柏崎市街局における平成28年度から平成30年度までの月平均値は、2.4～3.4^{4)~6)}と本県の値と大きく異なっている。四分位範囲についても、平成30年7月～9月を除き、季節によらずほぼ一定であった。なお、平成30年7月～9月の四分位範囲が他の月に比べて大きい原因は不明である。また、相対標準偏差をみると、アルファ放射能及びベータ放射能が約38%～74%であるのに対し、ベータ/アルファ比が約5%～8%であり、ベータ/アルファ比は、アルファ放射能及びベータ放射能に比べ季節変動が小さいことが判った。

図7～図9に、平成28年度から平成30年度までのアルファ放射能、ベータ放射能及びベータ/アルファ比の10分値の出現頻度分布を示す。図には、平成28年度から平成30年度までの3年間の平均値を併せて記載して

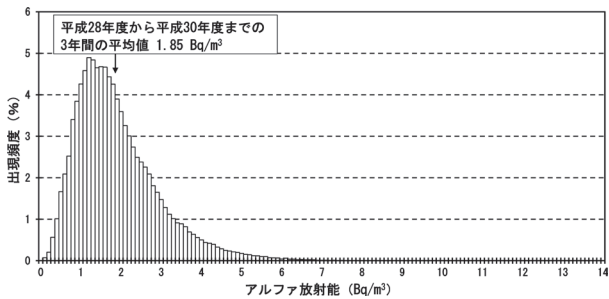


図7 平成28年度から平成30年度までのアルファ放射能の10分値の出現頻度分布

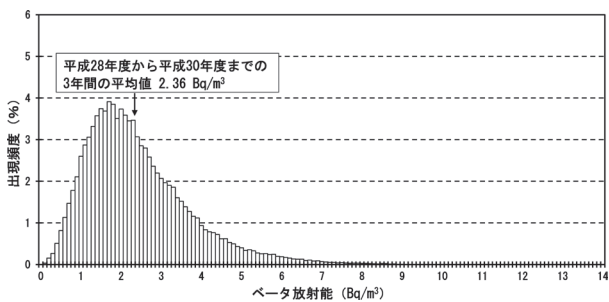


図8 平成28年度から平成30年度までのベータ放射能の10分値の出現頻度分布

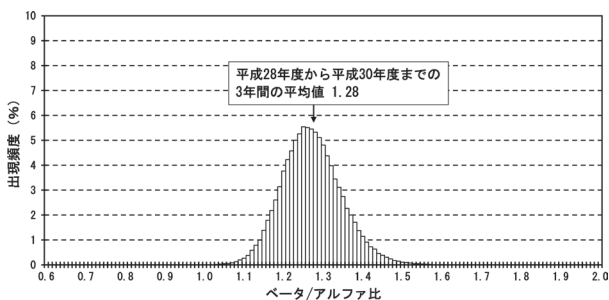


図9 平成28年度から平成30年度までの10分値のベータ/アルファ比の出現頻度分布

いる。アルファ放射能及びベータ放射能は、高濃度側に裾が伸びる非対称な分布となっていた。一方、ベータ/アルファ比は、最頻値を中心に対称に近い分布となっていた。

3・2 5Bq/m³程度に相当する発電用原子炉施設からの予期しない放出を判定するための条件についての検討

発電用原子炉施設から放出される人工放射性核種は、セシウム-137等ほとんどがベータ線放出核種である⁷⁾ことから、補足参考資料では、予期しない放出の判定条件として、ベータ放射能が「過去数年間の平均値に標準偏差の3倍を足した値を超えたとき」を一例としてあげている。しかし、本県の測定手法によるベータ放射能の測定値は自然放射性物質の変動の影響が大きいため、ベータ放射能の測定値のみを予期しない放出の判定条件に用いることができない。一方、ベータ/アルファ比は季節変動の影響やばらつきが小さいことから、ベータ/アルファ比を用いて自然放射性物質の影響を除外する手法を検討した。

判定条件として、測定値のベータ/アルファ比が「ベータ/アルファ比の平均値に標準偏差のn倍を足した値を超えたときに異常値である。」と設定し、適切なnの検討を行う。この判定条件を式で書くと、

$$\beta_{\text{obs}}/a_{\text{obs}} > \langle \beta/a \rangle + n\sigma \quad (1)$$

である。ここで、 a_{obs} 及び β_{obs} はアルファ放射能及びベータ放射能の測定値、 $\langle \beta/a \rangle$ はベータ/アルファ比の平均値、 σ は標準偏差である。

平常時のアルファ放射能及びベータ放射能の測定値を a_{normal} 及び β_{normal} 、発電用原子炉施設から放出されたベータ放射能の測定値を β_{ex} とすると、発電用原子炉施設から放出があったときのベータ/アルファ比は、

$$\begin{aligned} (\beta_{\text{normal}} + \beta_{\text{ex}})/a_{\text{normal}} \\ = \beta_{\text{normal}}/a_{\text{normal}} + \beta_{\text{ex}}/a_{\text{normal}} \end{aligned} \quad (2)$$

である。式(1)の左辺すなわち観測されたベータ/アルファ比が、発電用原子炉施設からの放出がある場合、式(2)となるのであるから、式(1)は、式(2)を用いて、

$$\begin{aligned} \beta_{\text{normal}}/a_{\text{normal}} + \beta_{\text{ex}}/a_{\text{normal}} \\ > \langle \beta/a \rangle + n\sigma \end{aligned} \quad (3)$$

となる。ベータ/アルファ比がほぼ一定であることから、式(3)の左辺の $\beta_{\text{normal}}/a_{\text{normal}}$ を平均値で近似して、

$$\langle \beta/a \rangle + \beta_{\text{ex}}/a_{\text{normal}} > \langle \beta/a \rangle + n\sigma$$

$$\beta_{\text{ex}}/a_{\text{normal}} > n\sigma,$$

判定を求められる最小の β_{ex} が5Bq/m³であるから、 $\beta_{\text{ex}} = 5$ とすると、

$$5/a_{\text{normal}} > n\sigma$$

となる。平成28年度から平成30年度までの3年間の統

計値を用いて、 σ に3年間の最高値である0.1、 α_{normal} に3年間の最高値9.76Bq/m³又は最低値0.02Bq/m³を入れてnを求めると、

$$n < 5 \sim 2500$$

となった。ベータ/アルファ比が、「ベータ/アルファ比の平均値に標準偏差の5～2500倍を足した値を超えたとき」に異常値である可能性が示唆される。このうち最も厳しい条件となるのがn=5であるので、以下にこの条件をもとに、志賀原子力発電所から5Bq/m³に相当する人工放射性物質が放出されたと想定し、平成28年度から平成30年度までの3年間の測定値に5Bq/m³を足したときの判定精度について検討を行った。検討には、ベータ/アルファ比の平均値及び標準偏差に平成28年度から平成30年度までの3年間の年平均値1.28及びその標準偏差0.08、平均値+5 σ =1.68を用いた。なお、平成28年度から平成30年度において、志賀原子力発電所は1号機、2号機ともに

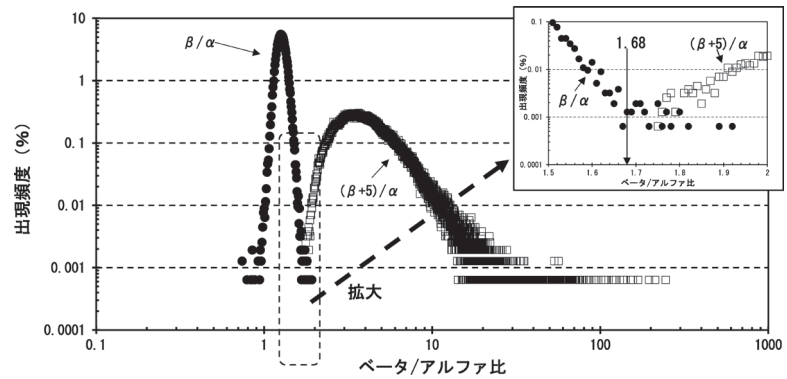


図10 平成28年度から平成30年度までの10分値のベータ/アルファ比の出現頻度分布の比較

停止しており、予期しない放射性物質の放出はなかった。

5Bq/m³の人工放射性物質の放出があったことを見逃す可能性を確認するため、表3に、平常時のベータ放射能に人工放射性物質として5Bq/m³を足したときのベータ/アルファ比が平均値+5 σ 以下であった数を示す。また、図10に平常時及び5Bq/m³を足したときのベータ

表3 5Bq/m³の放出があったと仮定したときのベータ/アルファ比が平均値+5 σ =1.68以下の数

年度	年	月	($\beta+5$)/ α の最低値	($\beta+5$)/ α が平均値+5 σ 以下の数	
平成28年度	平成28年	4月	2.20	0	
		5月	1.95	0	
		6月	2.01	0	
		7月	2.01	0	
		8月	1.88	0	
		9月	1.87	0	
		10月	2.37	0	
		11月	1.94	0	
		12月	2.57	0	
		平成29年	1月	2.38	0
			2月	2.58	0
			3月	2.30	0
平成29年度		4月	2.27	0	
		5月	1.78	0	
		6月	1.75	0	
		7月	1.92	0	
		8月	1.91	0	
		9月	2.03	0	
		10月	1.78	0	
		11月	1.91	0	
		12月	2.18	0	
		平成30年	1月	2.29	0
			2月	2.15	0
			3月	2.20	0
平成30年度		4月	2.03	0	
		5月	1.90	0	
		6月	1.92	0	
		7月	1.86	0	
		8月	1.82	0	
		9月	1.95	0	
		10月	2.11	0	
		11月	2.05	0	
		12月	2.31	0	
		平成31年	1月	1.75	0
			2月	2.08	0
			3月	2.18	0

表4 平常時においてベータ/アルファ比が平均値+5 σ =1.68を超えた数

年度	年月	測定数	平均値+5 σ を超えた数	平均値+5 σ を超えた割合(%)	平均値+5 σ を超えたときのベータ放射能の範囲(Bq/m ³)		
平成28年度	平成28年	4月	4313	0	0.00	—	
		5月	4457	1	0.02	0.52	
		6月	4186	0	0.00	—	
		7月	4457	0	0.00	—	
		8月	4456	1	0.02	0.26	
		9月	4314	0	0.00	—	
		10月	4457	0	0.00	—	
		11月	4251	0	0.00	—	
		12月	4447	0	0.00	—	
		平成29年	1月	4457	3	0.07	0.10~0.22
			2月	4024	0	0.00	—
			3月	4457	0	0.00	—
年間		52276	5	0.01	0.10~0.52		
平成29年度		4月	4313	0	0.00	—	
		5月	4449	0	0.00	—	
		6月	4188	0	0.00	—	
		7月	4447	9	0.20	0.04~0.23	
		8月	4457	0	0.00	—	
		9月	4313	0	0.00	—	
		10月	4457	0	0.00	—	
		11月	4237	0	0.00	—	
		12月	4456	0	0.00	—	
		平成30年	1月	4457	0	0.00	—
			2月	4024	0	0.00	—
			3月	4457	0	0.00	—
年間		52255	9	0.02	0.04~0.23		
平成30年度		4月	4312	0	0.00	—	
		5月	4458	0	0.00	—	
		6月	4195	1	0.02	0.31	
		7月	4455	2	0.04	1.11~1.13	
		8月	4456	3	0.07	1.19~1.24	
		9月	4309	1	0.02	0.34	
		10月	4457	0	0.00	—	
		11月	4260	0	0.00	—	
		12月	4456	1	0.02	1.01	
		平成31年	1月	4457	1	0.02	0.50
			2月	4025	1	0.02	2.36
			3月	4415	0	0.00	—
年間		52255	10	0.02	0.31~2.36		
平成28年度~平成30年度		156786	24	0.02	0.04~2.36		

タ/アルファ比の出現頻度を示す。5Bq/m³の人工放射性物質を足したときのベータ/アルファ比について、平均値+5σ以下の数が0であったことから、5Bq/m³の人工放射性物質の放出があったことを見逃す可能性はほとんどないと考えられた。

次に、放出がないのに放出があると誤判定する可能性を確認するため、表4に、平常時において平均値+5σを超えた数と割合及びそのときのベータ放射能の範囲を示す。平常時においても、わずかながら平均値+5σを超えた場合があるが、このときのベータ放射能の範囲は0.04Bq/m³～2.36Bq/m³と5Bq/m³よりも小さい値であった。このことから、ベータ放射能の測定値が5Bq/m³以上の場合において、誤判定はないと考えられた。

以上から、5Bq/m³に相当する人工放射性物質の放出があったと判定する条件を、「ベータ放射能の測定値が5Bq/m³を超え、かつ、ベータ/アルファ比が平均値+5σを超える。」とするのが適切であると考えられた。

4 まとめ

石川県における大気浮遊じん中の放射能測定値から自然放射性物質の影響を除き、5Bq/m³程度に相当する志賀原子力発電所からの予期しない放出を判定するための条件について検討を行った。平成28年度から平成30年度までの3年間におけるアルファ放射能及びベータ放射能の10分値の変動状況や測定値の出現頻度分布を調査した結果、ベータ/アルファ比は、季節変動の影響やばらつきが小さいため、ベータ/アルファ比を用いれば自

然放射性物質の影響を除いた評価ができると考えられた。平成28年度から平成30年度までの3年間の測定値を用い、ベータ/アルファ比による予期しない放出の判定条件の検討を行った結果、5Bq/m³の人工放射性物質の放出があったと判定する条件を、「ベータ放射能の測定値が5Bq/m³を超え、かつ、ベータ/アルファ比が平均値+5σを超える。」とするのが適切であると考えられた。

文 献

- 1) 原子力規制庁監視情報課：平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料），平成30年4月4日
- 2) 西川嗣男，青木正義，岡部 茂：大気中のラドン族と環境放射能，107-114，ラドン族調査研究委員会（1985）
- 3) 山崎 興樹，霜鳥 達雄，藤巻 広司，坂上 央存，殿内 重政：浮遊じんの全ベータ放射能の季節変動に及ぼす遠方起源ラドンの影響，新潟県放射線監視センター年報，4，21-27（2006）
- 4) 新潟県：平成28年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書，平成29年9月
- 5) 新潟県：平成29年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書，平成30年9月
- 6) 新潟県：平成30年度柏崎刈羽原子力発電所周辺環境放射線監視調査結果報告書，令和元年8月
- 7) 環境省：放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 平成30年度版，平成31年3月31日